

## 2-3-1 硝化に必要なばっ気電力の削減と下水道資源の活用に向けたアンモニアストリッピング技術の適用可能性について

森ヶ崎水再生センター 松園 健吾  
(現 中部下水道事務所 芝浦水再生センター)

### 1. はじめに

東京都下水道局（以下「当局」という。）は、2030年カーボンハーフ実現に向けて、地球温暖化対策とエネルギー対策とを一体的に推進し、脱炭素化に向けた取組の加速・強化を図るため、令和5年3月に「アースプラン 2023」を策定した。本計画の2050年ゼロエミッション実現に向けたビジョンの中で、温室効果ガスの削減と下水道資源の最大限の活用<sup>1)</sup>とを挙げているが、既存技術や先進技術の導入だけでは達成が困難であることから、先進技術の一層の導入推進や、より革新的な技術の開発・導入が必要不可欠となっている。このような背景から、他分野で利用されている技術について再度スポットを当て、ゼロエミッションの実現に近づけるよう、新たに温室効果ガス削減へのメニューに加えられないかを検討することとした。

その技術の一つに、従前より工場排水処理等で利用されてきた「アンモニアストリッピング法」がある。この方法は、高濃度のアンモニアが含まれている排水をpH調整によりアルカリ性にし、アンモニアをガス化させた後に冷却することでアンモニアを排水から取り出す技術であるが、ガス化に当たって加温のためのエネルギーを多く要するため、大量の下水を処理し、大量のエネルギーを必要とする下水処理分野では、あまり採用されていなかった。

しかし、アンモニアストリッピング法の下水処理分野適用への課題が解決された場合、反応槽におけるばっ気電力の削減や回収したアンモニアの資源利用が期待できる。

そこで、「アンモニアストリッピング法」を試験運用しているイギリスの「ハウドン下水処理場」を現場視察し、実態を把握するとともに、この技術を森ヶ崎水再生センターに導入した場合の考察を行ったので報告する。

### 2. 下水道局の現状と課題

#### 2.1 反応槽におけるばっ気電力と温室効果ガス排出量の実態

2050年までに世界のCO<sub>2</sub>排出量実質ゼロに貢献する「ゼロエミッション東京」の実現は、エネルギーや資源の大消費地である東京の責務であり、2030年までの今後10年間が未来に向けた重要なマイルストーンとなる。そのため、「気候非常事態を超えて行動を加速する宣言」に基づき、2030年までに温室効果ガスを50%削減する目標を実現する具体的な取組を推進することが都にとって急務である。

図1に示すとおり、下水道局における温室効果ガス総排出量のうち、水処理工程での電力使用による温室効果ガス排出量(①)は全

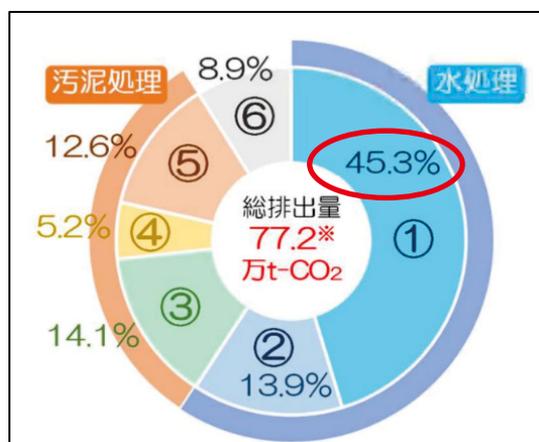


図1 当局の温室効果ガス排出量の内訳 1)  
(令和3年度実績)

体の 45.3%を占めており、主にポンプの揚水や反応槽におけるばっ気電力として使用されている。したがって、反応槽におけるばっ気電力の削減が急務となっている。

## 2.2 下水中のアンモニアの未活用

産業界におけるアンモニアの利用用途としては、尿素や硫酸アンモニウム等としての肥料利用や化学繊維の原料、廃棄物焼却処理工程で発生する窒素酸化物の脱硝剤に利用されるなど、多岐に渡っている。また、水素社会の実現に向けた取組を推進する上で、アンモニアはエネルギーキャリアとして直接利用することが可能であり、電力分野ではアンモニアを燃料とした石炭との混焼発電及びアンモニアのみでの専焼発電、非電力分野ではエネルギー密度の高さから国際輸送等長距離を移動する船舶分野等での活用が想定されている。このように、持続可能な資源利用推進の一環として、国内で下水中のアンモニアの有効活用方法について検討可能性がある。参考までに、全国の処理場で発生する消化汚泥の年間発生量に対するアンモニア回収可能量は 12,590 (t/年) 以上<sup>2)</sup>とされている。

一方、図 2 のように水処理工程の反応槽において、アンモニアは好気槽で硝化菌の働きにより硝酸へ化学変化させ、無酸素槽で脱窒菌により窒素ガス化して大気放出しており、下水由来のアンモニアは一般的に資源として有効利用されていないのが現状である。

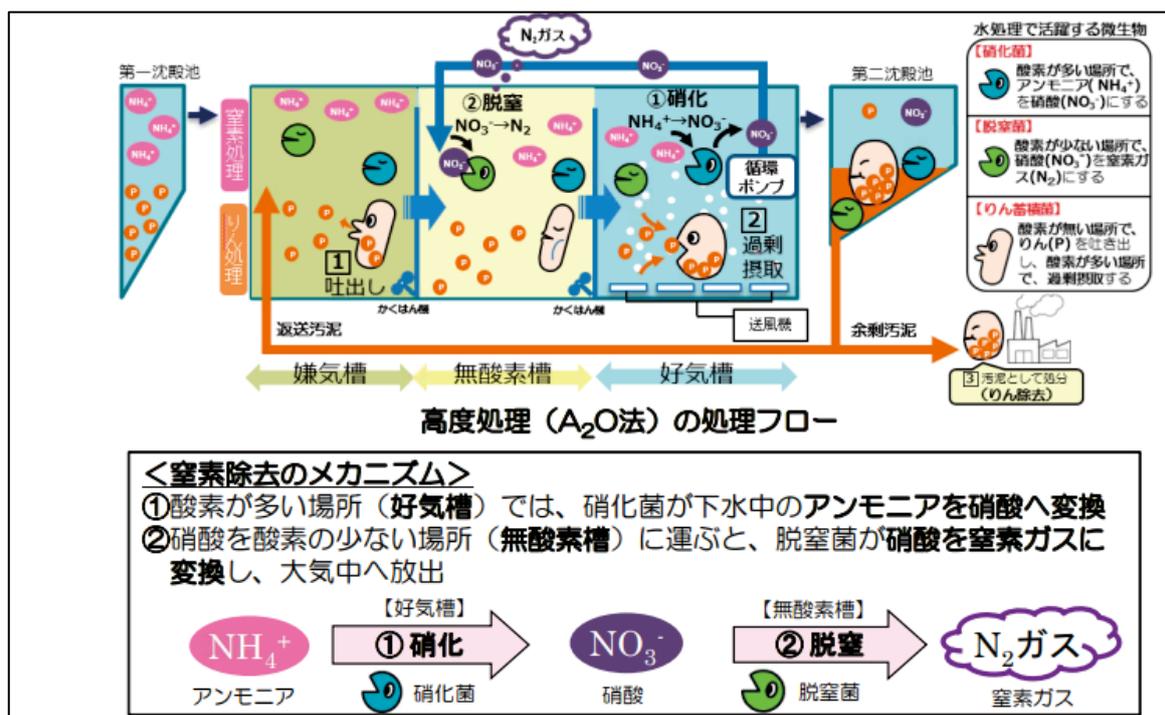


図 2 反応槽における高度処理のフロー<sup>3)</sup>

## 3. 調査内容

### 3.1 アンモニアストリッピング法

アンモニアストリッピング法とは、水処理方法の一つであり、高濃度のアンモニア性窒素が含まれる液中に蒸気を吹き込んで水中のアンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)と水酸化物イオン(OH<sup>-</sup>)を反応させ、アンモニアガスを回収する手法である。

図 3 にアンモニアストリッピング装置の概要を示す。

仕組みとしては、初めにアンモニア性窒素を含有している排水をストリッピング塔の上

部から下部へ流し込み、それに対して高温蒸気をストリッピング塔の下部から上部へ流し込むことで、排水と蒸気とが接触して液中のアンモニア性窒素はアンモニアとして気化し、蒸気側の中に混ざる。そして、蒸気に含まれるアンモニアは、後段で冷却することでアンモニア水として回収している。本手法における化学反応式は以下のとおりである。

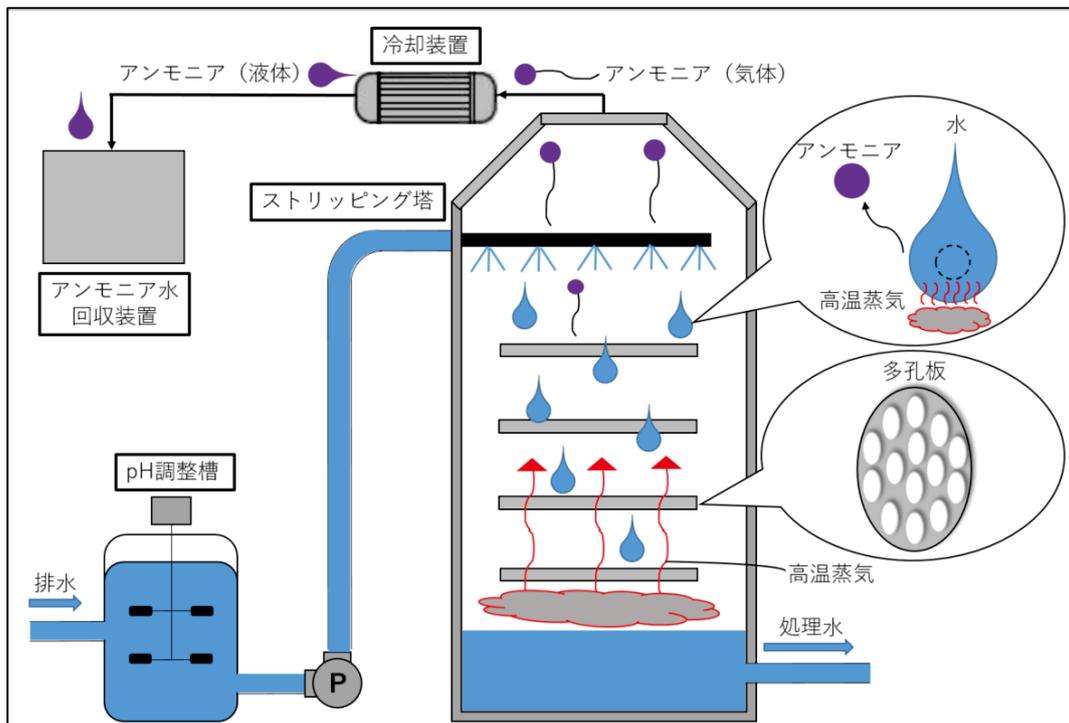
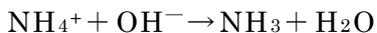


図3 アンモニーストリッピング装置の概要

### 3.2 森ヶ崎水再生センターにおける水処理の状況

森ヶ崎水再生センターでは、東施設内にある污泥処理工場と南部スラッジプラントとにおいて污泥処理を、東施設にて污泥処理工場からの返水と南部スラッジプラントからの返水などを流入下水と合わせて水処理を行っている。

図4のように南部スラッジプラントでは、污泥処理工程における濃縮及び脱水により生じる分離液は污泥処理返水として水処理工程

に戻しており、この污泥処理返水には、流入下水よりも高濃度のSSやリン、アンモニア性窒素などを含んでいる。そのため、放流水質基準の確実な遵守に向けて、水処理工程では多くのばっ気電力を消費している。

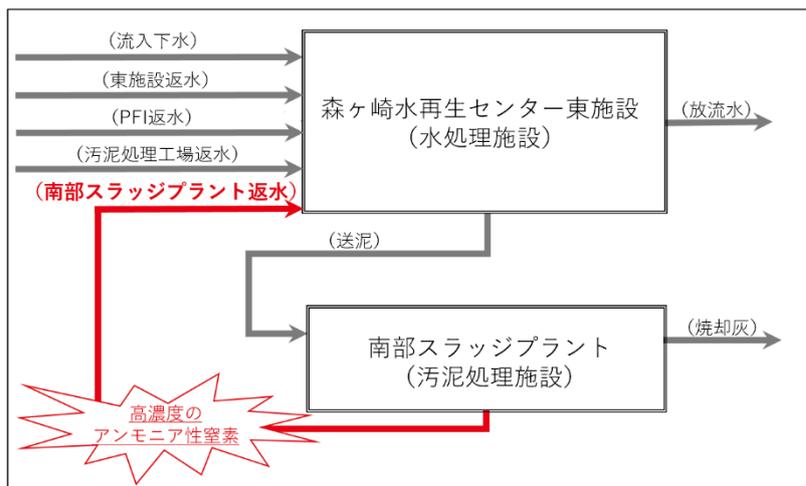


図4 森ヶ崎水再生センターにおける下水処理フロー図 (污泥処理返水周り)

このことから、アンモニアストリッピング法を汚泥処理返水に適用した場合、森ヶ崎水再生センター東施設への返水中のアンモニア性窒素の大部分を除去することで、反応槽における硝化に必要なばっ気電力を削減することができると考えられる。

### 3.3 ハウドン下水処理場（イギリス ニューカッスルアポントン市）

イギリスの下水処理場にて試験運用されているアンモニアストリッピング設備や回収したアンモニアの活用方法を調査するために現地視察を行った。

調査は、令和5年8月26日～9月3日の9日間、イギリスのニューカッスルアポントン市にあるハウドン下水処理場で行った。

ハウドン下水処理場は、イギリス東海岸のエディンバラとテムズ川の間位置し、日量229,000m<sup>3</sup>の排水を処理している。図5にハウドン下水処理場の汚泥処理フロー図を示す。

本処理場では汚泥処理も行っており、処理場内で発生した汚泥だけでなく、近隣の下水処理場から輸送される汚泥も合わせて処理する集約処理施設である。集約された汚泥の消化効率向上とメタンガス発生促進のために水蒸気を用いて温度と圧力をかけて汚泥を溶かす可溶化装置を設置している。また、溶解した汚泥は、消化槽の保護と消化槽内の適正温度を保つために冷却装置を通してている。その後、消化槽にて投入された汚泥から発生したガスを使い、熱電併給システムで発電等を行っている。

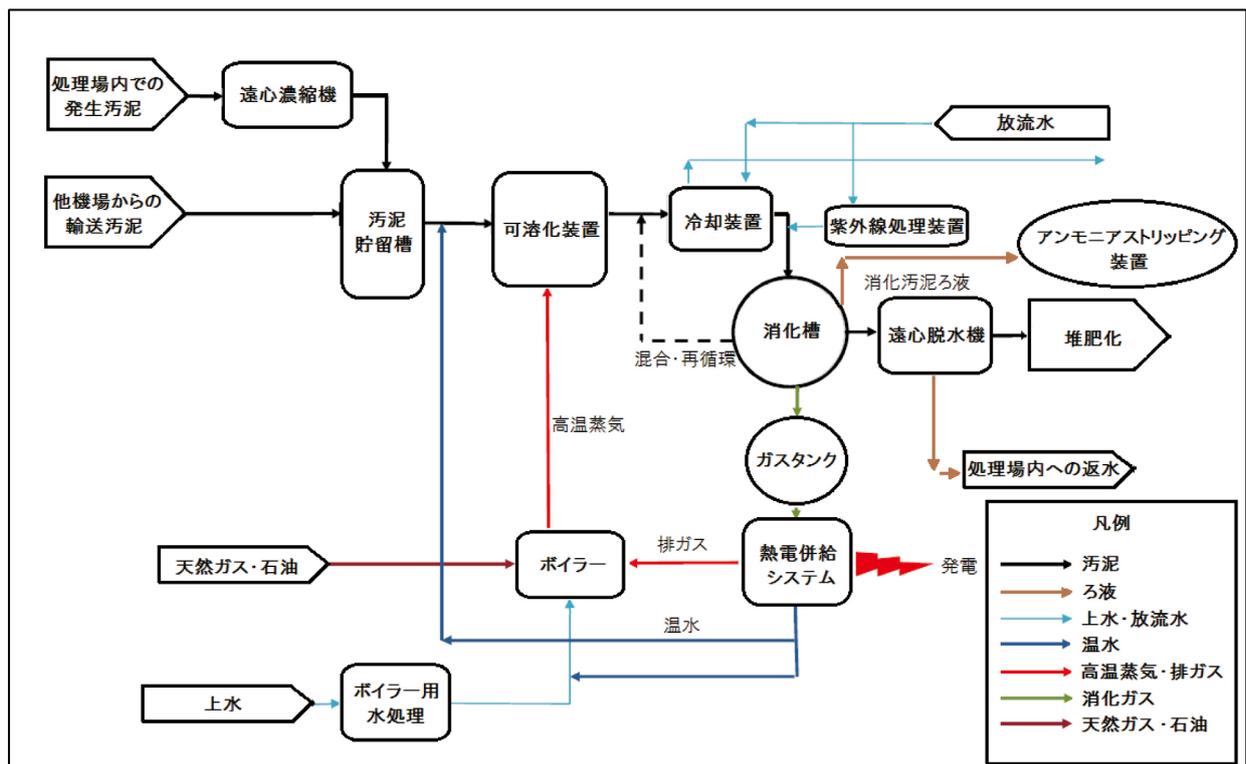


図5 ハウドン下水処理場の汚泥処理フロー図

## 4. 調査結果

### 4.1 ハウドン下水処理場におけるアンモニアストリッピング法の活用

ハウドン下水処理場では、アンモニア濃度の高い消化汚泥ろ液からアンモニアストリッピングを行っていた。また、現地のアンモニアストリッピング装置を設置及び研究している技術者によると、「ストリッピングに使用する高温蒸気を作るためのヒーターに使用する

る電力が多いことが課題であり、より高濃度のアンモニアを含む排水を対象にストリッピングしなければ採算が合わない。」とのことであった。そのため、今後は高温蒸気を製造するための熱源を電力消費が伴うヒーターから処理場内に設置されているガスエンジンの廃熱利用へ変更することや、試験設備から他機場にて設置実績のある巨大装置に換装し、より大規模にアンモニア製造を行うことを検討しているとのことであった。図 6 にハウドン下水処理場の全体写真とアンモニアストリッピング装置を示す。



図 6 ハウドン下水処理場の全体写真（左）とアンモニアストリッピング装置（右）

#### 4.2 森ヶ崎水再生センターにおけるアンモニアストリッピング法の適用の可能性

実際に、アンモニアストリッピング法を南部スラッジプラントの返水に適用した場合、森ヶ崎水再生センター東施設に戻る返水中のアンモニア性窒素の大部分を除去することで、硝化に係るばっ気電力がどの程度削減できるのか、また回収できるアンモニアの量がどの程度になるかを試算した。

令和 5 年度の森ヶ崎水再生センターの水質管理年報の水質、水量<sup>4)</sup>から、「下水道施設計画・設計指針と解説」<sup>5)</sup>に記載されている式を用いて必要酸素量を試算した。必要酸素量の内訳を図 7 に示す。図 7 の通り、必要酸素量の内訳は、有機物の酸化に必要な酸素量 (DB)、窒素処理に必要な酸素量 (DN)、内生呼吸に必要な酸素量 (DE) 及び溶存酸素濃度の維持に必要な酸素量 (DO) にて構成されており、DN は必要酸素量全体の 45% であった。

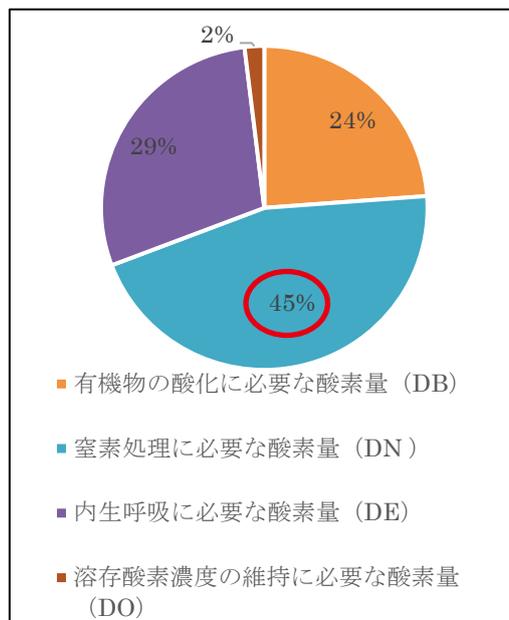


図 7 必要酸素量の内訳

また、図 8 に示すとおり、東施設に流入する全アンモニア性窒素のうち、南部スラッジプラントの返水中に含まれるアンモニア性窒素が占める割合は 20% であった。(南部スラッジプラント返水中のアンモニア性窒素量 ÷ 東施設に流入する全アンモニア性窒素量 × 100 = 4.313(t-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/日) ÷ 21.095(t-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/日) × 100 ≒ 20%)

参考として、国土技術政策総合研究所の論文「下水道由来のアンモニアのエネルギー利用システムに関する研究(2019)」<sup>2)</sup>に記載されているアンモニアストリッピング法に

よるアンモニア性窒素回収率 87.8(%)を使用すると、南部スラッジプラントの返水のアンモニア性窒素の除去により、東施設のばっ気電力が約 9%削減できる可能性があるとして試算できた。

さらに、1日当たりの回収可能なアンモニア量は 3.787 (t/日)と試算できた。

(南部スラッジプラント返水中のアンモニア性窒素濃度×南部スラッジプラント返水流量×アンモニア性窒素回収率 = 44.3(mg/L = g/m<sup>3</sup>) × 97,360(m<sup>3</sup>/日) × 87.8(%))=3,786,856(g/日)≒ 3.787 (t/日))

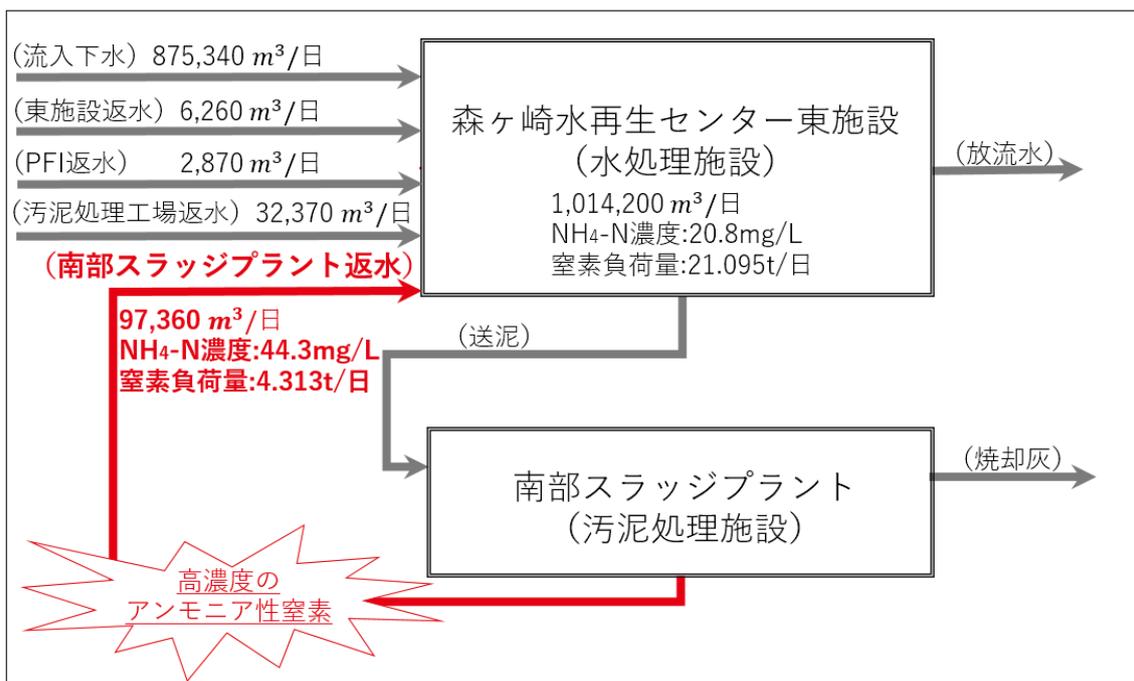


図 8 汚泥処理返水周りの水量、アンモニア性窒素濃度及び窒素負荷量 (令和 5 年度実績)

#### 4.3 回収したアンモニアの活用方法

ハウドン下水処理場では、現地で回収したアンモニア水(質量パーセント濃度約 20%)の具体的な活用方法として、発電のための燃料や肥料の精製、水素への改質などを検討していた。

森ヶ崎水再生センターにおいても、回収したアンモニアの活用方法として以下の 3 点が考えられる。

- (1) 汚泥焼却炉に付属するバイナリー発電機に使用される作動媒体への補充
- (2) 空調機で使用される冷媒への補充
- (3) 燃料や肥料の精製や水素への改質(ハウドン下水処理場と同様)

これらの活用方法に当たっての課題は、発電機及び空調機設備導入の可否、工場における受け入れの可否(濃度や純度など)の確認及び受け入れ可能な工場の選定等がある。また、受け入れ先の条件に合わせてアンモニア濃縮設備の設置や液体アンモニア製造のための蒸留水確保等、多くの課題解決が必要となる。

東京都下水道局では、図 9 のようにアースプラン 2023 において、下水道資源の活用イメージとしてアンモニア回収及び利用についても想定しており、アンモニアストリッ

ピングを活用することで新たに温室効果ガス削減へのメニューの一つになると考えられる。

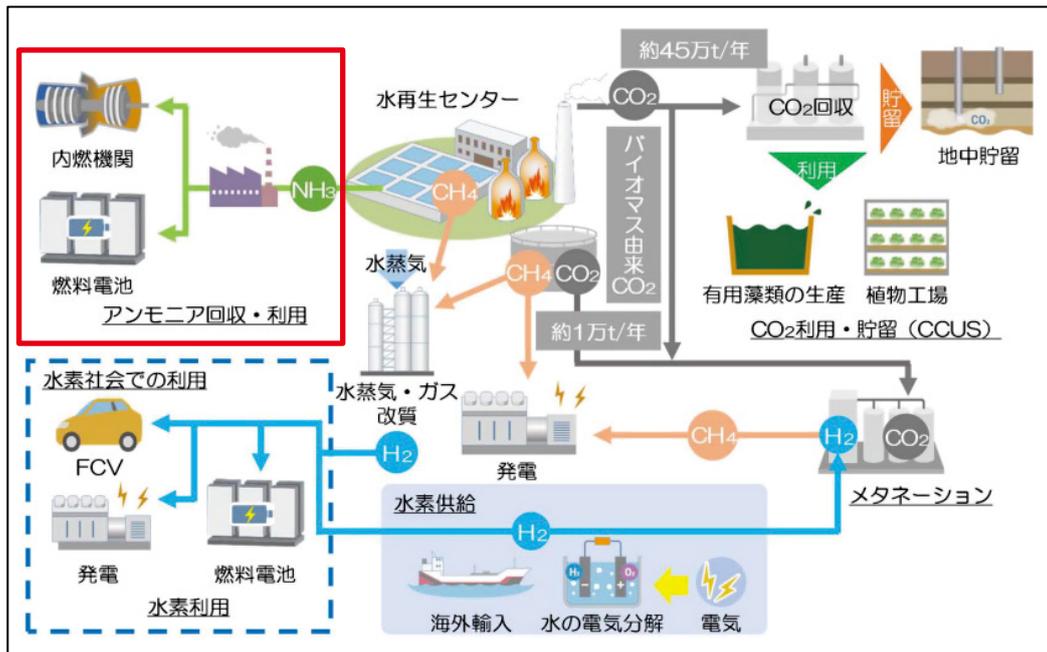


図 9 下水道資源の活用イメージ

## 5. まとめと考察

水処理工程において、反応槽ではばっ気に多くの電力を使用しており、ゼロエミッションの実現に向けては、このばっ気電力の削減が急務である。さらには下水中に含まれるアンモニア性窒素は、アンモニア資源として有効活用されていない。

現時点では、ガス化に当たって加温のための大量のエネルギーを要する課題があるが、低コストでのアンモニアの気化技術や高純度のアンモニア抽出技術の開発、回収したアンモニアの安定的な供給先が確保できれば、下水処理へのアンモニアストリッピング法の導入により、硝化に必要なばっ気電力の削減が期待でき、回収したアンモニアは燃料や肥料の精製や水素への改質などへの有効活用を見込むことができる。

今後、ゼロエミッションの実現に向け、革新的な技術メニューの一つとして「アンモニアストリッピング法の導入」について、引き続き検討していく。

### ・参考文献

- 1) 東京都下水道局. (2023). アースプラン 2023 (pp. 36, 74).
- 2) 山下洋正, 矢本貴俊, 松橋学. (2019). 下水道由来のアンモニアのエネルギー利用システムに関する研究 (pp. 73-75). 国土技術政策総合研究所.
- 3) 東京都下水道局. (2021). 東京都下水道事業 経営計画 2021 (p. 57).
- 4) 東京都下水道局. (2024). 令和 5 年度森ヶ崎水再生センター水質管理年報.
- 5) 公益社団法人日本下水道協会. (2019). 下水道施設計画・設計指針と解説 後編-2019 年版- (pp. 293-295).